

STUDI KANDUNGAN HIDROKARBON PADA BATUBARA DENGAN METODE KROMATOGRAFI

P.Y. Topo Supriyadi¹⁾, Yane Oktovina Ansanay²⁾, Hendig Winarno³⁾

Staf-Pengajar Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Matematika Universitas Pelita Harapan¹⁾,

Mahasiswa Jurusan Fisika Universitas Pelita Harapan²⁾,

Tim Peneliti PATIR – BATAN Pasar Jumat³⁾,

Jl. M.H. Thamrin Boulevard, Tangerang 15811, Banten^{1,2)}

Telp (021) 5460901¹⁾

Email : deta_coker@yahoo.com²⁾

Abstrak

Pembakaran batubara pada sebuah PLTU selalu menghasilkan energi, juga menghasilkan karbondioksida, karbonmonoksida, dan sejumlah abu terbang, yang merupakan polutan bagi lingkungan. Untuk meminimalisasi polutan tersebut, perlu dilakukan usaha ekstraksi hidrokarbon. Telah dilakukan studi kandungan hidrokarbon pada batubara.

Penelitian dilakukan dengan cara likuifikasi dan gasifikasi hidrokarbon.. Likuifikasi dilakukan dengan melarutkan sampel di dalam beberapa pelarut polar yang telah dipilih. Pelarut yang digunakan untuk likuifikasi adalah polar dan semi polar. Hasil likuifikasi diukur dengan Gas Chromatography Mass Spectroscopy. dalam larutan diperoleh berbagai jenis hidrokarbon. Paling tinggi adalah Toluene dengan presentasi relatif adalah 92,45 % dari kelas lignit dan 95,04 % dari kelas bituminus keduanya di dalam pelarut polar, diikuti Limonene dengan presentasi relatif 12,62 % dari kelas lignit di dalam pelarut semi polar, Sikloheksena 8,02 % dan Sikloheksanon 6,83 % dari kelas bituminous di dalam pelarut semi polar. Sedangkan untuk proses gasifikasi pengambilan sampel dilakukan dengan metode modifikasi dari fluidized bed gasifier. Pengukuran kandungan gas menggunakan Gas Chromatography-Thermal Conductivity Detector, dan diperoleh hidrokarbon dengan urutan paling tinggi dimulai dari Metana dengan presentasi mol adalah 13,069 % diikuti Etana 1,3042 % , Propana 0,6679 %, Heksana 0,0545 %, dan diikuti beberapa hidrokarbon lainnya. Hasil-hasil tersebut menunjukkan bahwa hidrokarbon berbentuk cairan ataupun gas dapat diekstraksi dari batubara. Dengan suatu proses yang masih perlu untuk dilanjutkan untuk diteliti, bahan-bahan tersebut dapat dieksploitasi lebih besar dan lebih efektif.

Kata kunci : hidrokarbon, batubara, polar, semi polar, kromatografi

PENDAHULUAN

Tingkat penggunaan batubara sebagai sumber energi primer mulai berkurang seiring dengan kenaikan pemakaian minyak, yaitu sejak tahun 1960. Akan tetapi sejak terjadi krisis minyak tahun 1973 membuat banyak pihak menyadari bahwa ketergantungan yang berlebihan pada salah satu sumber energi primer akan menyulitkan dalam pemenuhan pasokan energi yang kontinu. Keadaan inilah yang kemudian mengembalikan nilai batubara sebagai alternatif sumber energi primer.

Dari segi kuantitas batubara jumlahnya sangat banyak di Indonesia. Tetapi tidak mungkin batubara dibakar seluruhnya dan diubah menjadi energi listrik, karena sampah pembakaran yang membahayakan, yaitu melalui polutan CO₂, SO₂, NO_x dan C_xH_y. Batubara

sebaiknya tidak langsung dibakar, akan lebih efektif dan efisien jika diambil hidrokarbon yang terdapat di dalam batubara atau dikonversi menjadi migas sintesis. Dua cara yang dipakai untuk mengekstrak hidrokarbon pada batubara adalah likuifikasi dan gasifikasi batubara. Karakteristik batubara yang umumnya di kenal adalah batubara Eosen umumnya berwarna hitam dan kilap gelap yaitu jenis batubara dari kelas sub bituminus, bituminus dan antrasit dengan kadar kalori yang berturut-turut semakin tinggi. Sedangkan Batubara Miosen sebagian besar berupa lignit atau batubara coklat, sangat lunak, kadar air tinggi, kadar debu rendah, dan kadar kalori rendah. Dari segi aspek fisika yang dapat dilihat dari batubara adalah rumus empiris dan juga densitas relatif seperti tabel berikut.

Tabel. 1 Rumus Empiris Beberapa Jenis Batubara

Jenis Batubara	Berat Molekul	Rumus Empiris			
		C	H	O	N
Lignit	513	30	28	7.4	0.5
Bituminus	419	30	22	1.9	0.4
Antrasit	305	24	9	0.4	0.1

Tabel. 2 Densitas Relatif Sampel batubara

Jenis Batubara	Densitas relatif (kg / m^3)	
	Solid	Bulk
Lignit	1,120	860
Bituminus	1,450	940

Untuk mengetahui energi yang terdapat di dalam batubara dilakukan analisis terhadap senyawa-senyawa umum yang berada di dalam batubara. Berikut ini ditunjukkan contoh analisis ultimat dari masing-masing unsur yang terdapat dalam setiap tahapan pembatubaraan dalam tabel 3.

Tabel.3 Contoh Analisis Ultimat Batubara (daf based)

Jenis Batubara	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	C/O (%)
Kayu	50	6	43	1	1.2
Gambut	59	6	33	2	1.8
Lignit	69	5.5	25	0.5	2.8
Bituminus	82	5	12.2	0.8	6.7
Antrasit	95	2.5	2.5	0	38

Dari tabel terlihat bahwa semakin tinggi tingkatan batubara, maka unsur karbonnya juga semakin tinggi, dan kadar unsur-unsur lainnya berkurang. Karena tingkat pembatubaraan secara umum dapat diasosiasikan dengan mutu atau kualitas batubara, maka batubara dengan tingkat pembatubaraan rendah disebut pula batubara bermutu rendah seperti lignit dan sub-bituminus biasanya lebih lembut dengan materi yang rapuh dan berwarna suram seperti tanah, memiliki tingkat kelembaban yang tinggi dan kadar karbon yang rendah, sehingga kandungan energinya juga rendah. Semakin tinggi kualitas batubara, umumnya akan semakin keras dan kompak, serta warnanya akan semakin hitam mengkilat.

Sedangkan jika ditinjau dari segi aspek kimia batubara terbagi dalam dua bagian yaitu polimer organik yang menunjukkan hasil bahwa batubara berasal dari sisa tumbuhan dan juga material inorganik yaitu senyawa-senyawa karbon yang tidak terjadi secara alami, misalnya CO_2 dan CO .

METODOLOGI PENELITIAN

a. Likuifikasi Hidrokarbon Pada Batubara

Likuifikasi dilakukan dengan melarutkan zat-zat yang diduga sebagai agen penyimpan energi yang terdapat pada sampel batubara. Pelarut yang dipilih adalah mewakili tingkat kepolaran dari masing-masing

tingkatan. Jenis kepolarannya adalah berturut-turut, polar dan semi-polar.

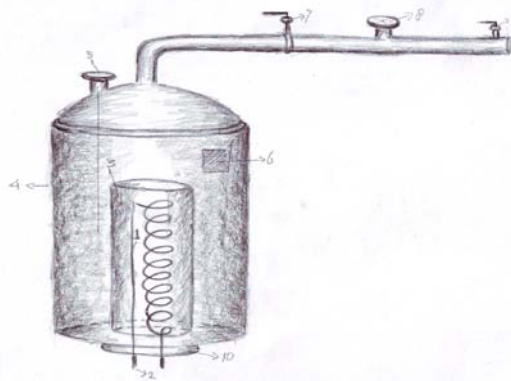
Tabel. 4 Ukuran Sampel batubara untuk Likuifikasi

Jenis batubara	Nama Pelarut (150 ml)	Massa batubara (gram)
Bituminus	Polar	50,84790
	Semi polar	51,08355
Lignit	Polar	50,70583
	Semi polar	50,76656

b. Gasifikasi Hidrokarbon Pada Batubara

Gasifikasi dalam penelitian ini adalah metode pemanasan batubara sampai suatu derajat pemanasan tertentu. ketika proses mulai mengeluarkan berbagai jenis gas yang terdapat di dalam batubara, gas yang dihasilkan ini kemudian ditampung dalam wadah yang telah disiapkan. Pengambilan data dari proses gasifikasi secara umum dikenal dengan sebutan gasifikasi tanpa filtrasi yaitu proses pemanasan langsung batubara tanpa diawali tahap pencucian batubara.

• Perancangan Tabung Bakar



Gambar 1. Skema Tabung Bakar

Keterangan gambar :

1. Heater 4000 watt
2. Napple tempat menghubungkan dengan kabel sumber arus
3. Pipa penjaga heater di bagian dalam tabung.
4. Pipa bagian luar
5. Tempat memasukan thermometer.
6. Tempat memasukan batubara ke dalam tabung.
7. Kran penjaga aliran gas.
8. Manometer sebagai pengukur tekanan.
9. Kran pengatur aliran gas yang akan dialirkan ke selang kuningan.

• **Proses Gasifikasi**

Sampel batubara ditimbang tiga kg, dan kemudian dimasukan ke dalam tabung pembakaran dan siap untuk dibakar. Suhu maksimum yang dapat dicapai dari proses gasifikasi adalah 400 °C. Saat suhu mencapai 270 °C dan tekanan 0,88 MPa atau 8,70 atm, dilakukan pengambilan sampel gas. Aliran gas dibuka dan gas dialirkan ke dalam wadah yang telah disiapkan. Sebelum masuk dalam wadah *sampling*, gas terlebih dahulu disaring menggunakan botol penyaring, dan kemudian disalurkan dalam wadah ‘plastik’ dan siap untuk dilakukan pengukuran.

c. **Pengukuran Kandungan Hidrokarbon**

• **Hasil Likuifikasi Hidrokarbon dengan GCMS**

Dengan memanfaatkan spektrometer massa sebagai detektor yang dapat memberikan informasi berat molekul senyawa dalam sampel dan juga fraksi yang dihasilkan dari puncak kromatogram yang dipakai untuk keperluan konfirmasi puncak.

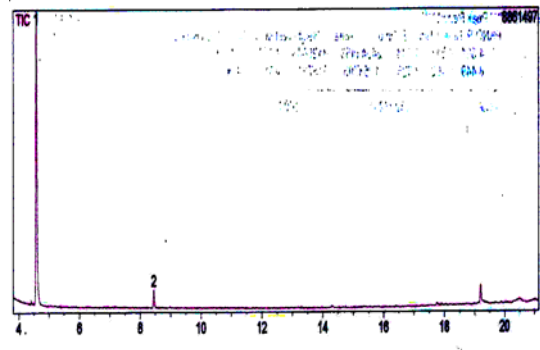
• **Hasil Gasifikasi Hidrokarbon**

1. Pengamatan awal
Pengamatan awal yang dilakukan adalah dengan membakar langsung gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi. Indikasi apabila terbentuk nyala api, informasi awal yang diperoleh adalah terdapat senyawa hidrokarbon. Jenis nyala api yang diperoleh adalah nyala api biru.
2. Pengukuran Hidrokarbon
GC-TCD adalah penggabungan detektor GC dan TCD, dimanfaatkan umumnya untuk mengidentifikasi sampel dalam bentuk gas. Keunggulan dari detektor ini adalah multikolom, artinya bukan hanya terdapat satu jenis kolom seperti umumnya dalam penggabungan dengan GC, tetapi memiliki empat buah kolom.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. **Pengukuran Hidrokarbon**

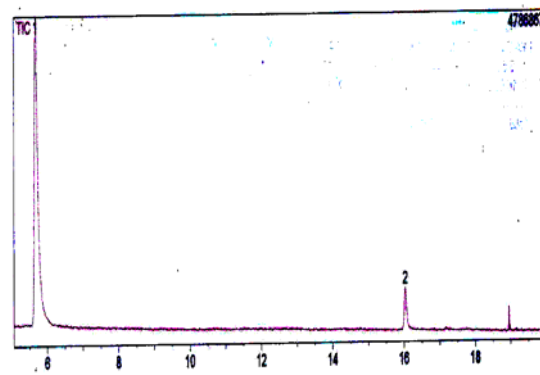
Hasil GC-MS yang diperoleh dari pengukuran likuifikasi hidrokarbon pada batubara di dalam pelarut polar dan semi polar ditampilkan dalam tabel 5 dengan jenis senyawa terlarut dan komposisi yang berbeda di dalam larutan.



Gambar 2. TIC (Total Ion Chromatogram) Batubara Hitam Dalam Pelarut Polar

Tabel 5. Puncak TIC Batubara hitam dalam pelarut polar sesuai data referensi.

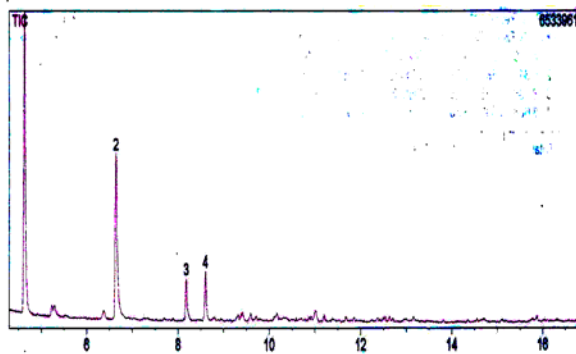
Peak	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Mr	% relatif dlm Larutan
1	Toluene	C_7H_8	92	95,04
2	Sikloheksena	$C_{10}H_{16}$	136	4,96



Gambar 3. TIC (Total Ion Chromatogram) Batubara coklat Dalam Pelarut Polar

Tabel 6. Puncak TIC Batubara coklat dalam pelarut polar sesuai data referensi

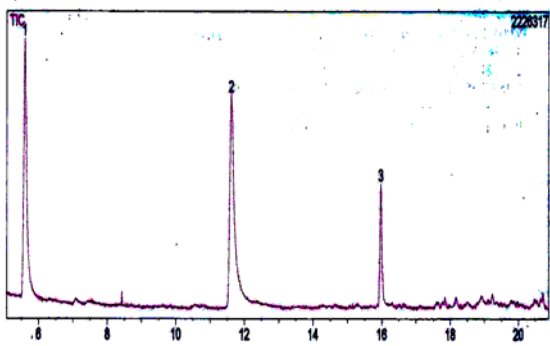
Peak	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Mr	% relatif dlm larutan
1	Toluene	C_7H_8	92	92,45
2	Limonene	$C_{10}H_{16}$	136	7,55



Gambar 4. TIC (Total ion chromatogram) Batubara Hitam Dalam Pelarut Semi Polar

Tabel 7. Puncak TIC Batubara Hitam dalam pelarut semi polar sesuai data referensi.

peak	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Mr	% relatif Dlm arutan
1	Toluene	C_7H_8	92	51,37
2	Diacetone alcohol	$C_6H_{12}O_2$	116	33,79
3	Sikloheksanon	$C_6H_{10}O$	98	6,83
4	Sikloheksena	$C_{10}H_{16}$	136	8,02



Gambar 5. TIC (total ion chromatogram) Batubara Coklat Dalam Pelarut Semi Polar

Tabel 8 Puncak TIC Batubara coklat dalam pelarut semi polar sesuai data referensi

Peak	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Mr	% Relatif dlm larutan
1	Toluene	C_7H_8	92	42,67
2	Diacetone alcohol	$C_6H_{12}O_2$	116	44,71
3	Limonene	$C_{10}H_{16}$	136	12,62

Senyawa-senyawa yang muncul dalam larutan hasil pengukuran GC-MS, menurut referensi merupakan komponen yang diperlukan dalam pemanfaatan energi terutama sebagai bahan aditif pada bahan bakar dan juga sebagai bahan bakar.

Sebagai bahan aditif artinya senyawa tersebut memiliki beberapa fungsi, yang paling umum adalah *octane booster*, berfungsi untuk mengubah rantai karbon bahan bakar menjadi lebih banyak cabang untuk menghasilkan nilai oktan yang tinggi. Yang berikutnya yaitu aditif sebagai penghilang endapan, karakter aditif yang mempengaruhi pembentukan endapan adalah tingkat penguapan. Senyawa yang relatif lebih cepat menguap. Sebagai bahan bakar diartikan senyawa yang terlarut memiliki karakteristik yang sama atau mendekati bahan bakar yang umum digunakan, yaitu bilangan oktan (RON dan MON) yang tinggi, nilai kalori tinggi, volatilitas atau tingkat penguapan yang baik, panas laten penguapan dan emisi gas buang CO₂ yang dihasilkan kecil. Senyawa yang paling banyak muncul adalah toluena, presentasi relatifnya 92,45% berasal dari batubara coklat dan 95,04% dari batubara hitam yang terlarut dalam pelarut polar. Toluena merupakan hidrokarbon aromatik yang memiliki nilai oktan tinggi yaitu RON 124 dan MON 112 karakter ini sesuai untuk bahan bakar dan bahan aditif, mudah terbakar dan memiliki titik nyala 4°C dua karakter inipun sesuai untuk bahan aditif dan bahan bakar, titik didih 111°C dan densitas 0,867 g/ml dan energi yang dihasilkan toluena adalah 40,589 MJ/Kg. Dengan karakter yang dimiliki ini, toluena merupakan senyawa hidrokarbon yang penting dalam pemanfaatan bahan bakar, karena dapat dimanfaatkan sebagai aditif pada bahan bakar dan sekaligus sebagai bahan bakar.

Walaupun toluena sendiri merupakan senyawa yang cukup toksik jika dihirup secara langsung, tetapi pada kenyataan dengan adanya toluena dalam bensin khususnya untuk pertamax menghasilkan nilai oktan 95. Sampai saat ini belum didapatkan informasi tentang gangguan yang ditimbulkan oleh aditif toluena di masyarakat. Toluena yang diperoleh dalam penelitian ini paling tinggi dalam pelarut polar. Dapat diperoleh Toluena di dalam pelarut polar, karena Toluena memiliki titik didih yang lebih tinggi dibandingkan dengan pelarut polar. Diketahui juga bahwa pelarut polar termasuk sebagai bahan aditif, sehingga dengan adanya toluena di dalam pelarut polar, dapat menghasilkan bahan aditif berkualitas tinggi. Bukan hanya sebagai bahan aditif tetapi dapat juga langsung digunakan sebagai bahan bakar mesin turbo. Toluena juga banyak dimanfaatkan dalam bidang industri sebagai pelarut, campuran pembuatan karet, tinta printer, dan juga sebagai campuran bahan peledak yaitu TNT (Trinitol Toluena).

Komposisi kedua adalah limonene, limonene merupakan gugus hidrokarbon yang biasanya ditemukan dalam tumbuhan. Kehadiran limonene 12,62% disebabkan oleh faktor pembentukan batubara. Limonene yang terlarut dalam pelarut polar dan semi polar berasal dari batubara coklat. Hal ini membenarkan teori bahwa batubara coklat atau lignit masih memiliki karakter sebagai tumbuhan. karakteristik fisis dari limonene yaitu titik nyala 50°C, titik didih 176°C, densitas 0,841 g/ml. Limonene juga

dapat digunakan sebagai bahan bakar dengan tingkat pencemaran rendah dan tidak berbahaya. Nilai oktan limonene untuk RON 88,5 dan MON 72,5. Ditemukan limonene di dalam pelarut polar ataupun semi polar, karena limonene memiliki titik didih yang jauh lebih tinggi dari kedua pelarut tersebut. Berikutnya adalah sikloheksena 8,02%, dengan karakteristik fisiknya yaitu titik nyala -12°C , titik didih $80,74^{\circ}\text{C}$, densitas $0,779\text{ g/ml}$ dan kandungan energinya cukup tinggi $43,450\text{ MJ/Kg}$. Sikloheksena belum dapat digunakan umumnya untuk pencampuran bahan bakar, karena biasanya menimbulkan hasil pembakaran yang kurang sempurna dan meninggalkan getah padat atau endapan. Tetapi banyak digunakan dalam industri dan juga sebagai pelarut, sikloheksena cukup berbahaya dapat menimbulkan iritasi pada mata, kulit kering, dan juga menghirup sikloheksena dalam jumlah yang besar dapat menimbulkan kanker paru-paru, sehingga dibutuhkan proses pengolahan yang sangat baik. Presentasi paling kecil adalah sikloheksanon 6,83%, karakteristik fisiknya yaitu titik nyala 44°C , titik didih 155°C , densitas $0,938\text{ g/ml}$ biasanya digunakan sebagai pelarut dan sebagai pengaktif dalam reaksi oksidasi. Penggunaan dalam bahan bakar masih dalam penelitian.

b. Hasil Gasifikasi Hidrokarbon pada Batubara

• Hasil dan Pembahasan Pengamatan Awal



Gambar 6. Semburan Api Biru dari Proses Gasifikasi

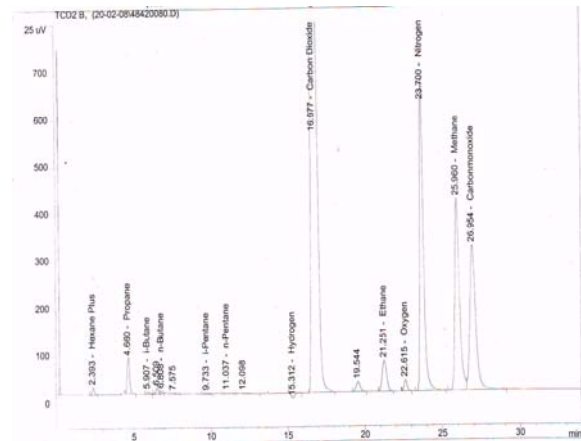
Sebelum dilakukan penampungan dalam wadah, dilakukan uji bakar terhadap gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi. Tujuan dilakukan uji bakar adalah untuk melihat tingkat flameabilitas dari gas yang dihasilkan.

• Hasil dan Pembahasan Pengukuran Hidrokarbon

Komposisi senyawa hidrokarbon terukur dengan GC-TCD ditampilkan dalam tabel 4.3. Komposisi paling banyak untuk hidrokarbon adalah metana diikuti etana, propana, heksana plus, iso butana, iso pentana yang semuanya adalah hidrokarbon dalam bentuk gas yang memiliki titik didih di bawah suhu pembakaran. Jenis gas-gas yang dihasilkan adalah gas alam yang digunakan sebagai bahan bakar industri ataupun rumah tangga dan ketersediaannya sangat dibutuhkan guna pemenuhan kebutuhan energi.

Sebagai perbandingan energi yang dihasilkan model bakar *fluidized bed gasifier* ($5,7\text{ MJ/m}^3$ - $5,0\text{ MJ/m}^3$) dan

pembakaran dengan model *Entrained flow* ($6,6\text{ MJ/m}^3$ - $4,2\text{ MJ/m}^3$) dan *Moving bed gasifier* ($6,5\text{ MJ/m}^3$ - $6,3\text{ MJ/m}^3$).



Gambar 7. Spektrum gas yang terukur dengan GC-TCD

Tabel 9. Puncak-puncak Gas Batubara Terukur dengan GC-TCD

Puncak Ke	Nama Senyawa	Waktu Retensi (menit)	Mol (%)
1	Heksana Plus	2,393	0,0545
2	Propana	4,660	0,6679
3	Iso-Butana	5,907	0,0312
4	n-Butana	6,808	0,0448
5	Iso-Pentana	9,733	0,0120
6	n-Pentana	11,037	0,0313
7	Hidrogen	15,312	12,3231
8	Karbon dioksida	16,677	45,4207
9	Tidak dikenali (diduga etilen)	19,121	-
10	Etana	21,251	1,3042
11	Oksigen	22,615	5,0382
12	Nitrogen	23,700	12,2459
13	Metana	25,960	13,0697
14	Karbonmonoksida	26,954	9,7561
Nilai Kalor kotor		6,685 MJ/m^3	

Dari pembakaran model dasar *fluidized bed gasifier* yang telah dilakukan diperoleh nilai kalor kotor yaitu nilai kalor yang diperoleh dengan mengasumsikan seluruh uap yang dihasilkan selama proses pembakaran sepenuhnya terembunkan atau terkondensasikan adalah $5,7\text{ MJ/m}^3$ dan $5,0\text{ MJ/m}^3$. Jika dibandingkan dengan energi yang dihasilkan dari pengukuran gasifikasi hidrokarbon, untuk nilai kalor kotor adalah $179,4519\text{ BTU/FT}^3$ atau sama dengan $6,685\text{ MJ/m}^3$. Diperoleh nilai kalor kotor yang dihasilkan meningkat antara (14,7-25,2)% terhadap model dasar *fluidized bed gasifier*. Energi yang tinggi ini dikarenakan senyawa yang dihasilkan dalam proses gasifikasi hidrokarbon memiliki kontribusi energi yang tinggi juga, selain itu dengan teknik pemanasan batubara yang dilakukan

diperoleh adanya keseragaman temperatur batubara yang relatif cepat terhadap kenaikan suhu pada heater atau pemanas, dan sangat efektif karena dengan suhu pemanasan yang dibutuhkan hanya sekitar 26,47% dari suhu pembakaran normal menggunakan model dasar *fluidized bed gasifier* dan 44,5% dari tekanan yang digunakan pada model dasar *fluidized bed gasifier* telah menghasilkan energi yang tinggi. Dilihat dari komposisi gas yang dihasilkan untuk model dasar *fluidized bed gasifier*, *Entrained flow* ($6,6\text{MJ/m}^3$ - $4,2\text{MJ/m}^3$) dan *Moving bed gasifier* ($6,5\text{MJ/m}^3$ - $6,3\text{MJ/m}^3$).

Ketiga proses ini menghasilkan gas nitrogen yang sangat tinggi, dan diketahui bahwa nitrogen tidak memberikan kontribusi tambahan energi. Sehingga walaupun dihasilkan jenis gas lain yang memberikan kontribusi energi tetapi presentasi relatif di dalam sampel yang sangat kecil akan menghasilkan energi yang tidak terlalu tinggi.

KESIMPULAN

1. Hasil likuifikasi diperoleh sejumlah hidrokarbon yang berpotensi sebagai sumber energi primer maupun sekunder.
2. Jenis hidrokarbon yang paling tinggi presentasi di dalam pelarut adalah Toluena, yang merupakan salah satu penghasil energi tinggi. Presentasinya untuk batubara hitam adalah 95.04% dan batubara coklat 92,45%. Sehingga baik batubara coklat maupun hitam keduanya mampu menghasilkan energi yang tinggi.
3. Hasil gasifikasi diperoleh sejumlah gas hidrokarbon yang digunakan oleh industri dan rumah tangga. Konsentrasi hidrokarbon paling tinggi adalah metana, diikuti etana, propana, heksana plus, iso butana, iso pentana yang juga berguna sebagai sumber energi.
4. Hasil gasifikasi hidrokarbon dibandingkan dengan model dasar *fluidized bed gasifier* mengandung nilai kalori yang lebih tinggi, yaitu untuk model dasar hanya ($5,0$ - $5,7$) MJ/m^3 sedangkan yang dilakukan dalam penelitian ini $6,685\text{ MJ/m}^3$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A Symposium of the United Nations *Economic Commission for Europe, Oils and Gases from Coal*, UN-ECE. (2001).
- [2] Berita Iptek, "Mengenal Batubara". Diakses 8 Agustus 2007 dari [http://www.beritaipstek.com/zberita-beritaipstek-2006-02-18-Mengenal-Batubara-\(2\).shtml](http://www.beritaipstek.com/zberita-beritaipstek-2006-02-18-Mengenal-Batubara-(2).shtml).
- [3] Cazes, Jack and Raymond. P.W. Scoot. (2002) *Chromatography Theory*. Marcel Dekker Inc. USA
- [4] Cheric, "Pure Component Properties,". Diakses 22 Januari 2008 dari <http://www.cheric.org/research/kdb/hcprop/cmprsc h.php>;

- [5] Darlan, Yudi, et al. "*Studi Regional Cekungan Batubara Wilayah Pesisir Tanah Laut-Kotabaru Kalimantan Selatan*". Diakses 23 Agustus 2007 dari <http://www.dim.esdm.go.id/English//index2.php?option=content&task=view&id=351&pop=1&page=0>.
- [6] Freepatents, "*Process or Puryfing Limonene for Fuel and The Like*". Diakses 7 Desember 2007 dari <http://www.freepatentsonline.com/4915707.html>.
- [7] Hinswah, Jhon V, "*The Thermal Conductivity Detector*," Diakses 7 Maret 2008 dari <http://chromatographyonline.findpharma.com/lcgc/article/articleDetail.jsp?id=283449&sk=&date=&pageID=3>.
- [8] Kitson, Fulton G, Barbara. S. Larser, Charles N. McEwen. (1996). *Gas Chromatography Mass Spectroscopy : A Practical Guide*. USA : Academic Press.
- [9] McLafferty F.W. (1973). *Interpretation of Mass Spectra*. Massachusetts : W.A. Enjamin Inc.
- [10] Meyer, Roberto. (1998). *Coal Handbook*, New York : Marcel Dekker Inc.
- [11] Peter, Douglas C. (1991). *Geology In Coal Resource Utilization*. Edited. Harnsberger: Tech Book.
- [12] Probst, Ronald F., R. Edwin Hicks. (1982). *Synthetic Fuels*. Japan: McGraw-Hill International Book Company.
- [13] JCOAL, Kuri-n ni Ryiou Sareru Sekitan. (2004). Japan Coal Energy Center.
- [14] Sumber Daya dan Konsumsi energi Indonesia. Diakses 25 Oktober 2007 dari <http://www.tabloidparle.com/comment.php?go=post&insert=new&newsid=1002>.
- [15] Whitehurst, D. Duayne , Thomas O.Mitchell, Malvina Farcasiu. (1980). *Coal Liquefication*. New York : Academic Press.
- [16] Winarno, Hendig. (2005). *Diktat kuliah Spektrometri Massa*. Jakarta.